

# “Maximización en la recuperación de pilares con sistema Wassara y su beneficio en la perforación de Tajos Primarios en Sociedad Minera El Brocal”

Ing. Edgard Pavel Atencia Daga<sup>1</sup>, Ing. Manuel Alexander Vega Merino<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Autor, Calle de las Begonias 415, Lima, Perú (edgard.atencia@elbrocal.com.pe)

<sup>2</sup>Co Autor, Calle de las Begonias 415, Lima, Perú (manuel.vega@elbrocal.com.pe)

## 1. Introducción

Sociedad Minera El Brocal se dedica a la exploración, desarrollo, explotación y tratamiento de minerales polimetálicos.

Con el objetivo de incrementar la producción, se buscó maximizar la recuperación de los pilares dejados post minado de tajos primarios, utilizando equipos ITH con sistema Wassara, el cual permite tener mayor alcance y menor desviación que los sistemas con martillo en cabeza (Top Hammer).

## 2. Objetivos

- ✓ Maximizar la recuperación de los pilares.
- ✓ Reducir los costos de perforación en pilares y tajos primarios.

## 3. Sistemas de Perforación

### 3.1. Martillo en Cabeza (Top Hammer)

Es la forma habitual de perforación de rocas a roto percusión, el principio de corte se basa en el impacto realizado en el exterior de la perforación de un pistón de acero sobre un barreno, las perforadoras de roca convierten la energía hidráulica, eléctrica o mecánica en energía mecánica, el pistón golpea el fondo creando una onda de choque que se transmite a través de las brocas, por medio de las barras de perforación se transmite la fuerza de empuje y percusión, descargando la energía en la parte inferior del agujero para lograr la penetración y triturar la roca. Para asegurar una sección circular en el barreno la útil gira con cada golpe, asegurando un corte nuevo en la roca, se debe retirar del barreno los detritus, esto se

consigue por medio de insuflado de aire al fondo del taladro. Parte de la energía del impacto se pierde en la transmisión y en los cambios de sección del varillaje, por lo que la velocidad de penetración de la perforación disminuirá con la profundidad del barreno.

### 3.2. Martillo de Fondo (In the Hole – ITH)

Se basa en el golpe del martillo directamente a la boca en el fondo de la perforación. De esta forma se evita la pérdida de energía transmitida por la percusión del pistón a través del varillaje. Se pueden alcanzar profundidades superiores a los 100 m. El martillo en fondo y la boca forman una unidad integrada dentro del barreno, esto garantiza una velocidad de perforación bastante homogénea con el aumento de la profundidad del taladro.

Consta de un cilindro cuya longitud es en función de la carrera del pistón y de diámetro acorde con el diámetro de perforación. En el extremo de este cilindro se aloja la broca de perforación. El varillaje se sustituye por un tubo hueco que conecta el martillo con el equipo y que se encarga de transmitir el par de rotación y la fuerza de avance. Los barrenos perforados con martillo en fondo acusan mínimas desviaciones, consiguiendo buenos resultados en rocas muy fracturadas. El varillaje está compuesto por tubos de igual diámetro en toda la longitud, no tiene acoplamientos que puedan atascar la perforación.

#### 3.2.1. Sistema Wassara

En el sistema de perforación ITH los martillos se montan directamente en la perforación, aplicando fuerza de percusión directamente sobre el bit.

Para propulsar el martillo en fondo se usaba aire, como normalmente se realiza en toda la industria minera, pero esta no es una tecnología completamente óptima, es por ello que se buscó aumentar la longitud de perforación manteniendo la precisión ya que la tecnología de entonces proporcionaba una profundidad limitada. De conseguir ello generaríamos mayor cantidad de mineral por voladura, algo importante para bajar el costo de producción.

La tecnología Wassara, patentada por la compañía sueca LKAB Wassara, usa agua a alta presión como fluido de transmisión de energía para propulsar al Martillo ITH. El agua le entrega una alta frecuencia y gran energía por golpe. Cuando el agua sale del martillo, ésta tiene la suficiente velocidad para llevar el detritus y escombros a la superficie y limpiar el pozo.

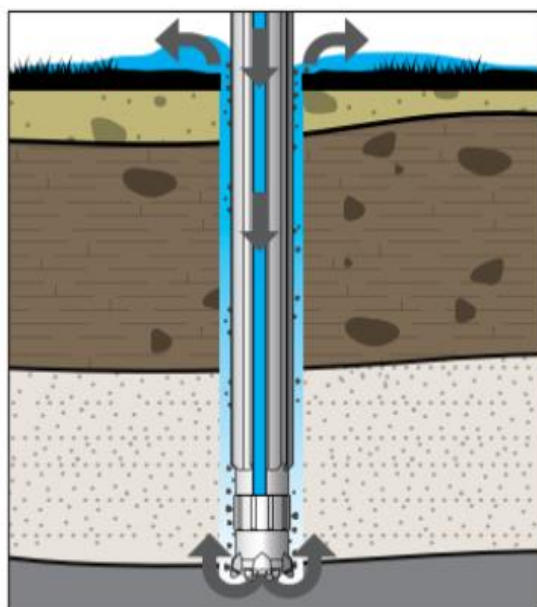


Figura 01, Principio de funcionamiento de la perforación impulsada por agua, Wassara.

Debido a la incompresibilidad del agua la presión de operación permanece constante, por lo que la eficiencia de perforación es prácticamente la misma independientemente de si la profundidad es 10, 50 o 100 metros.

El uso de agua para la transmisión de potencia también significa que la potencia se transfiere completamente al martillo, lo que permite perforar taladros con diámetros más pequeños, sin incrementar considerablemente la tasa de desviación. Hoy en día,

con la propulsión por agua se pueden perforar taladros con diámetros de 65 a 254 mm.

La presión del agua es de hasta 200 bar, en comparación con 30 para el aire. Así mismo La diferencia es notable en la frecuencia de golpes, un martillo Wassara proporciona 3,600 golpes por minuto (60 Hz), mientras que un martillo neumático proporciona 2,000 a 2,700 golpes por minuto (35-45 Hz).

#### 4. Recuperación de Pilares

Actualmente en Sociedad Minera El Brocal se tiene 0.7MM de reservas minables con leyes mayores a 2% de Cu en los pilares de mina Marca punta, por ende, se tiene la necesidad de recuperar la mayor cantidad de mineral posible con el fin de incrementar la producción.

##### 4.1. Recuperación de Pilares con Simba

Inicialmente se realizaba perforación con Equipo Simba 1254, el cual limitaba la longitud de recuperación de los pilares a 25 metros.

El diseño de la malla de perforación tiene los siguientes detalles:

Datos de Perforación:	
Equipo de Perforación	SIMBA
Baricentro:	2.0 m
Diámetro de Perforación:	89 mm
Burden:	1.7 m
Espaciamiento:	1.7 m
Longitud máxima de taladros:	25 m
Ratio de Perforación:	5.75 t/m

Tabla 01, Características de perforación Simba 1254



Figura 02, Equipo Simba 1254

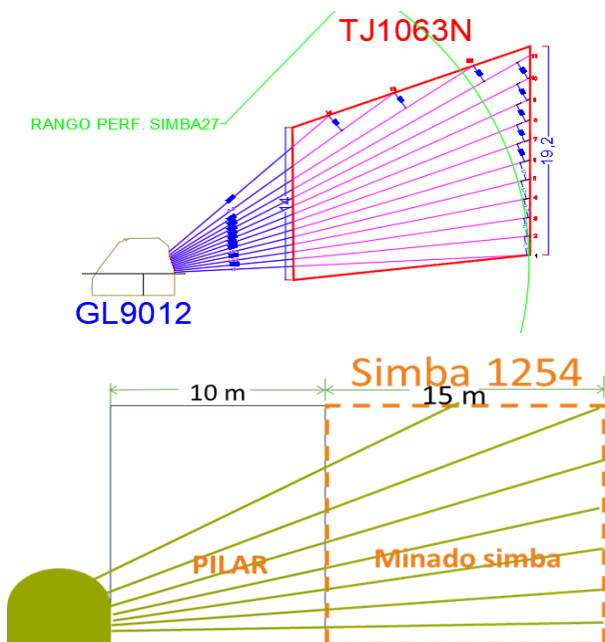


Figura 03, Configuración de recuperación de pilares con Simba

#### 4.1.1. Ventajas

- ✓ velocidad de perforación 22 m/hrs.
- ✓ Versatilidad del equipo.

#### 4.1.2. Desventajas

- ✓ Desviación en longitudes mayores a 25 metros (3% – 5%).
- ✓ Diámetro de perforación 89 mm propio del diseño del equipo.

## 4.2. Recuperación de Pilares con Sistema Wassara

En mina Marca Punta se tiene pilares de grandes longitudes (mayores a 25m), que perforados con equipo Simba evidenciaron desviaciones mayores a 3%. Como alternativa para recuperación de estos pilares se implementó el sistema Wassara, el cual trabaja con perforadora con martillo de fondo accionado por agua a altas presiones. Así mismo, es un sistema amigable con el medio ambiente, reduciendo el consumo de energía y reduciendo la polución.

Los martillos Wassara accionados por agua ofrecen una calidad parecida al sistema de perforación diamantina.

La recuperación de pilares se realiza con el Jumbo XDTH55UFDR con el sistema Wassara trabajando con un martillo W80 (3.5") con tamaño de broca de 100 mm.

Para accionar el martillo ITH, se recomienda una presión máxima de trabajo de 200 bar que es suministrado por una bomba eléctrica.

Datos de Perforación:	
Equipo de Perforación	Jumbo XDTH55UFDR
Baricentro:	0.6 m
Diámetro Perforación:	100 mm
Burden:	2.2 m
Espaciamiento:	2.2 m
Longitud máx. taladro:	80 m
Ratio de Perforación:	10 - 13 t/m

Tabla 02, Características de perforación Sistema Wassara



Figura 04, Equipo Jumbo XDTH55UFDR

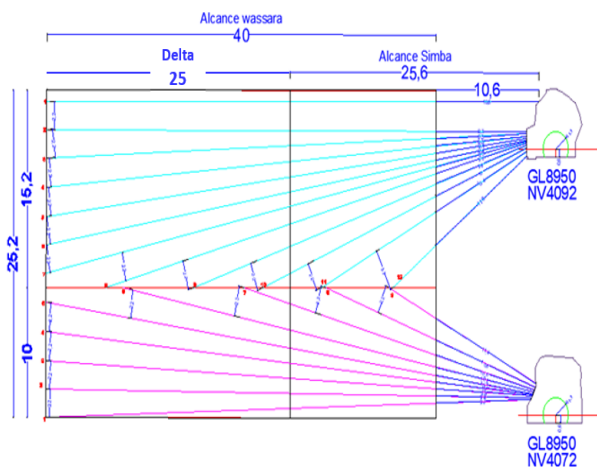


Figura 05, configuración de recuperación de pilares con sistema Wassara TJ522

#### 4.2.1. Ventajas

- ✓ Mayor recuperación de mineral por mayor longitud de perforación (hasta 80 m)
- ✓ Mayor precisión, Desviación promedio para una longitud de 80m (1% a 2%).
- ✓ No hay pérdida de energía a través de la columna de perforación.
- ✓ Mayor rango de diámetro de perforación (96mm-105mm)
- ✓ Reducción de polución.

#### 4.2.2. Desventajas

- ✓ Volumen de consumo de agua 341 l/min.
- ✓ Baja velocidad de perforación 14 m/hrs.

### 5. Análisis técnico-económico entre simba y Wassara

Para la implementación del Sistema Wassara en la mina Marca Punta, se realizó la evaluación técnico-económica entre un Simba 1254 y el Jumbo XDTH55UFDR con Sistema Wassara.

Parámetros	Unid	Simba	Wassara
Baricentro	m	2	0.6
Diámetro perforación	mm	89	100
Tipo de Perforadora		TH	ITH
Velocidad Perforación	m/hr	22	14
Desviación	°	3	1
Consumo		Agua, aire	Agua

Burden	m	1.7	2.2 – 2.4
Espaciamiento	m	1.7	2.2 – 2.4
Ratio de Perforación	t/m	4 - 6	9 - 11

Tabla 03, Comparativo general del sistema tradicional y Wassara.

Los diseños de malla de perforación tienen taladros con longitudes desde 25 metros hasta 70 metros, sin embargo, al ser el burden y espaciamiento del Wassara mayor al del Simba (2.4m >1.7m este parámetro se optimiza con el diámetro de la broca 100mm > 89mm) se logra reducir una fila, es decir, el Simba perfora 03 Filas mientras Wassara 02Filas.

#### 5.1. Análisis económico en Pilares

El costo de perforación para equipos con 89 mm y con 100 mm se ve alterado por el incremento en el ratio de perforación.

	Unidad	Simba	Wassara
Diámetro Broca	mm	89	100
Costo Perforación	US\$/m	18.77	41.30
Ratio Perforación	t/m	4.50	11.00
Costo Perforación	US\$/t	4.17	3.75

Tabla 04, Costo de perforación

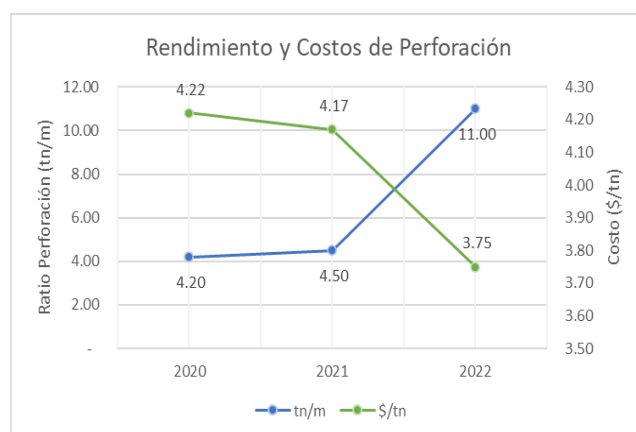


Figura 06, Comparativo rendimiento vs costo

#### 5.2. Análisis de Margen

Al realizar el análisis se evidencia que con el cambio de equipo la recuperación de pilar incrementa, generando con ello un mayor margen (caso Tj522-Figura 05).

	Unid	Simba	Wassara
Longitud Alcanzada	m	25	51
Recuperación Tajo-Pilar	%	30	80
Tonelaje Recuperado	t	11,318	30,182
NSR	US\$/t	127	127
Costo Minado	US\$/t	49.95	49.53
Margen	US\$	872,051	2,338,199

\*Cálculos según figura 05

Tabla 05, Maren económico

## 6. Resultados Recuperación de Pilares

Se incrementa en 50% la recuperación del pilar

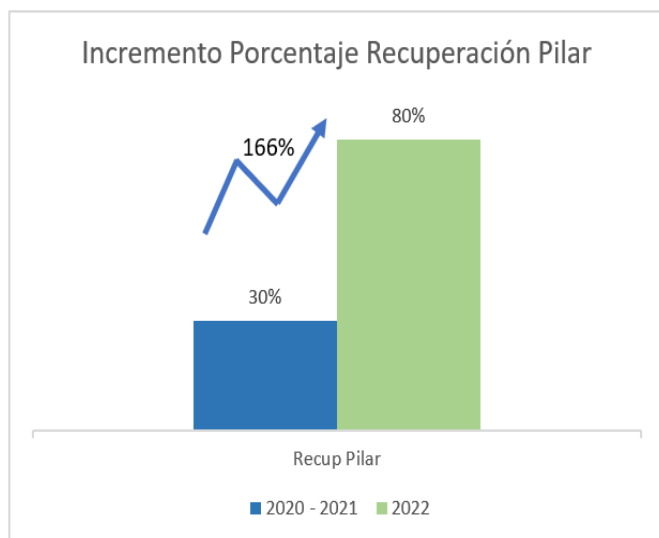


Figura 07, Variación porcentaje de recuperación del Pilar

Se redujo en 0.42 \$/tn el costo de perforación

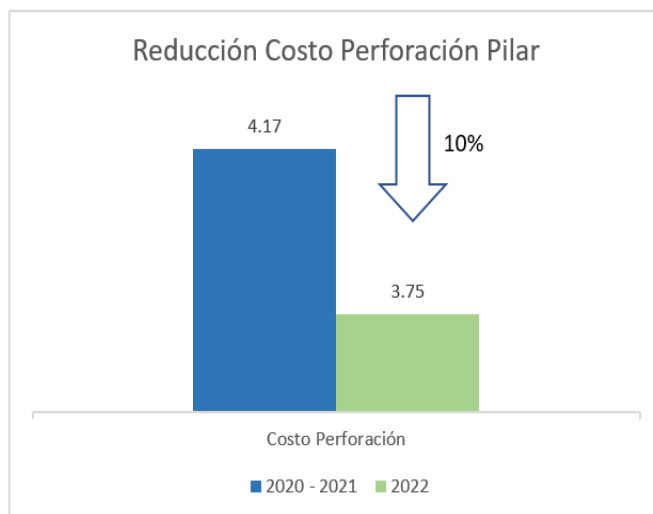


Figura 08, Variación costo de perforación

## 7. Perforación de tajos primarios

Al evidenciar el incremento del ratio de perforación, la reducción de los costos de perforación y el control de la

desviación, con dicha premisa, se propuso minar tajos primarios positivos a bancada completa.

### 7.1. Perforación de tajos primarios con Simba

Actualmente en Sociedad Minera El Brocal la perforación de tajos se realiza con simbas en bancadas de 15m positivos y negativos, con un diámetro de broca de 64mm para taladros positivos y 89mm para taladros negativos, preparando la galería superior (cabeza) y la galería inferior (pie) a lo largo de la longitud del tajo para su minado.

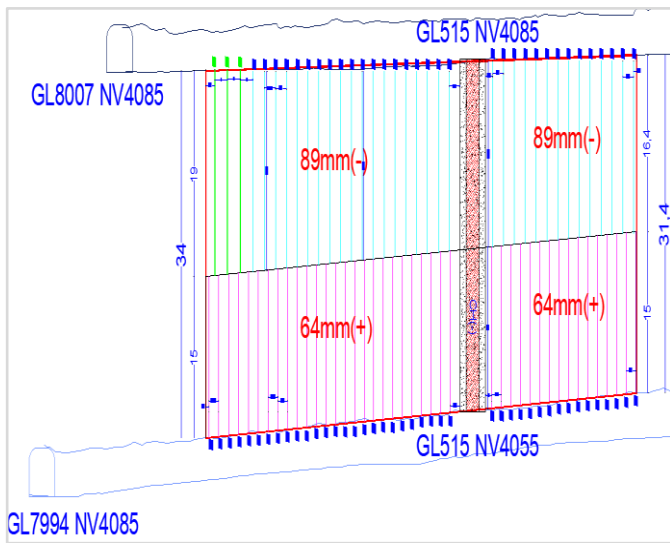


Figura 09, Vista longitudinal tajo primario

El diseño de malla de perforación para ambas zonas se indica a continuación:

Datos de Perforación:	
Equipo de Perforación	SIMBA
Baricentro:	2.0 m
Diámetro de Perforación:	64 mm
Burden:	1.5 m
Espaciamiento:	1.5 m
Ratio de Perforación:	4.50 t/m

Tabla 06, Características de perforación taladros positivos

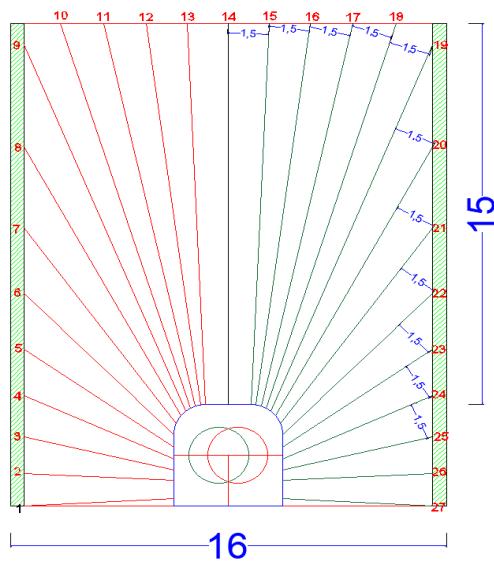


Figura 10, malla de perforación taladros positivos

Datos de Perforación:	
Equipo de Perforación	SIMBA
Baricentro:	2.0 m
Diámetro de Perforación:	89 mm
Burden:	1.7 m
Espaciamiento:	1.7 m
Ratio de Perforación:	5.75 t/m

Tabla 07, Características de perforación taladros negativos

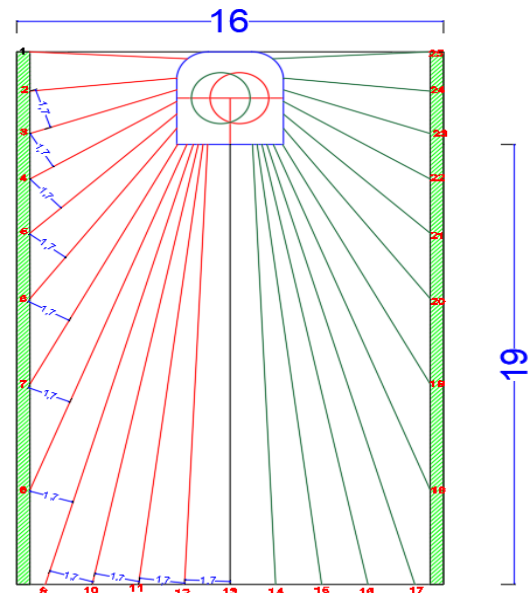


Figura 11, malla de perforación taladros negativos

## 7.2. Perforación de tajos primarios con Sistema Wassara

El piloto se realizó en el TJ765, el cual fue de 33 metros de bancada, se perforó taladros negativos, optimizando el minado eliminando el nivel inferior.

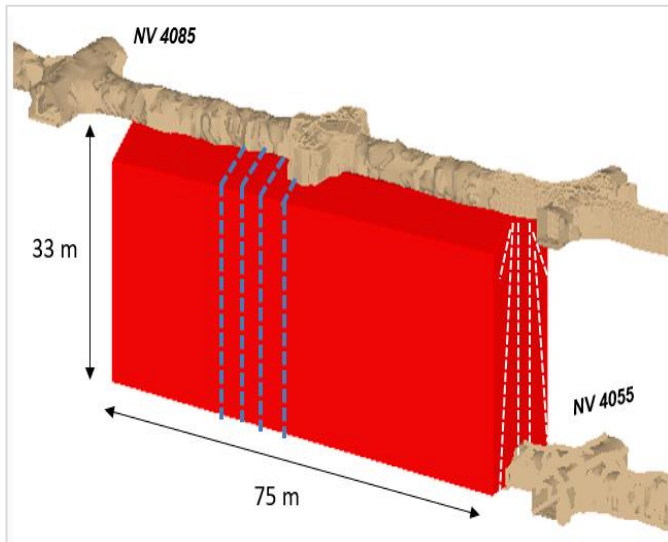


Figura 12, Vista longitudinal tajo 765

El diseño de las mallas de perforación se indica a continuación.

Datos de Perforación:	
Equipo de Perforación	Jumbo XDTH55UFDR
Baricentro:	2.2 m
Diámetro de Perforación:	100 mm
Burden:	2.8 m
Espaciamiento:	2.6 m
Ratio de Perforación:	14 t/m

Tabla 08, Características de perforación

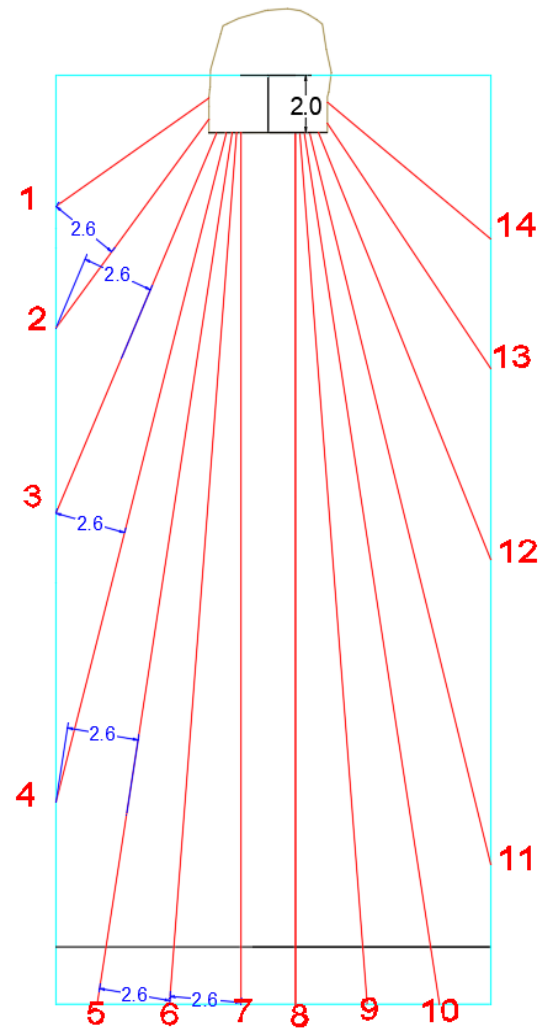


Figura 13, malla de perforación taladros negativos

### 5.1. Análisis económico en Pilares

Se realiza el análisis económico para bancadas de 30 metros, en el caso de perforación con sistema Wassara eliminando el nivel inferior.

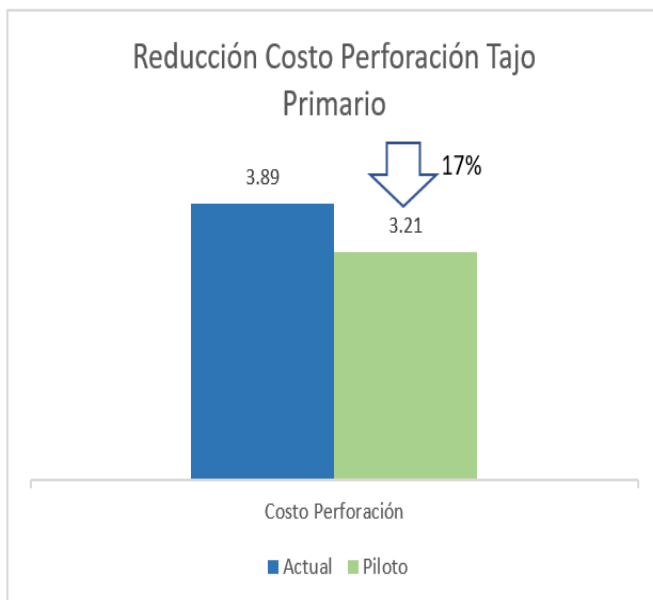
El costo de perforación para equipos con 64 mm y con 100 mm se ve alterado por el incremento en el ratio de perforación. Así mismo el costo de minado se vería afectado a favor de la perforación con sistema Wassara por la reducción en el costo de preparación al eliminar el nivel inferior.

Equipo	Simba S7D	Sistema Wassara
Diámetro (mm)	64	100
Costo (\$/m)	17.5	45
Eficien (ton/m)	4.5	14.0
rend equipo (m/mes)	8,700	4,000
Produccion x equipo (ton/mes)	39,150	56,000
req metros (mt/mes)	52,657	16,925
Req Prod (ton/mes)	236,954	236,954
# Equipos requerido	6.1	4.2
Costo Perforación (\$/ton)	3.89	3.21

Tabla 09, Comparativo de Costos de perforación

## 8. Resultados Perforación Tajos Primarios

Se redujo en 0.68 \$/tn el costo de perforación



## 8. Conclusiones

Se logró incrementar en un 166% el porcentaje de recuperación del pilar, debido al mayor alcance obtenido al realizar el cambio de equipo con el sistema Wassara.

Se redujo en 10% el costo en la perforación de pilares debido al incremento (144%) en el ratio de perforación.

Se redujo en 17% el costo en la perforación de tajos primarios debido al incremento (211%) en el ratio de perforación.

## Referencias

Sociedad Minera El Brocal. 2021. "Informe Perforación con Equipo Wassara en Pilares"

Sociedad Minera El Brocal. 2022. "Informe KPI Equipo Wassara"

ANZEVE SLU. 2005. "Tecnología de perforación propulsada por agua: óptima en cualquier entorno"

LKAB Wassara. 2017. "Water-powered drilling scaled up iron ore production in LKAB mines"

Marco Rubio Francisco Nicolás. 2015. "Evaluación del efecto tronadura en la estabilidad y dilución de caserones en minería subterránea selectiva".

Acuña Duhart Enrique, Fernandez Osorio Alberto, Hurtado Cruz Juan, Vargas Norambuena Juan. 2016. "Evaluación de factibilidad técnica-económica en la excavación de chimeneas para el ahorro energético en redes de ventilación mineras".



Ingeniero de minas colegiado de la Universidad Nacional de Ingeniería con 15 años de experiencia en operaciones mineras subterráneas. Laboró en Glencore Perú (UM Iscaycruz y Yauliyacu), Compañía Minera Catalina Huanca, Minera Aurífera Retamas S.A. y Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.

Actualmente Superintendente de Operaciones Mina Subterránea en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Edgard Pavel Atencia Daga  
Superintendente de Operaciones Mina Subterránea  
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.  
edgard.atencia@elbrocal.com.pe  
Tel. 419 2500  
Calle de las Begonias 415 San Isidro Lima

Ingeniero de minas colegiado de la Universidad Nacional de Ingeniería con 8 años de experiencia en minería subterránea. Laboró en Glencore Perú (UM Iscaycruz), Aruntani SAC (UM Apumayo) y Compañía de Minas Buenaventura (UM Tambomayo).

Actualmente Jefe de Perforación y Voladura en Sociedad Minera El Brocal S.A.A.

Manuel Alexander Vega Merino  
Jefe de Perforación y Voladura  
Sociedad Minera El Brocal S.A.A.  
Manuel. Vega @elbrocal.com.pe  
Tel. 419 2500  
Calle de las Begonias 415 San Isidro Lima